

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名 : On Site Visualization のコンセプトに基づく低コスト・低消費電力型モニタリングシステムの開発

研究期間 (元号) : 平成 24 年-平成 26 年

代表者名 : 芥川 真一 (神戸大学)

研究代表者名 : 芥川 真一 (神戸大学)

共同研究者名 : 野村貢 (建設技術研究所東北支社・次長), 片山辰雄 (環境総合テクノス・土木部長), 高橋厚志 (環境総合テクノス・マネージャー), 中田勝行 (オフィスひもろぎ・代表取締役社長), 小林弘典 (大日本印刷事業開発センター印刷エレクトロニクス開発第 1 部開発第 2 課・課長), 辻村幸治 (SK ラボ・代表取締役)

補助金交付総額 (円) : 33,930,000

研究・技術開発の目的:

本研究開発は、限られた予算で、できるだけ多くの、あるいは広い場所を効率的に監視し、異常の発生をできるだけ早く捉えることで維持管理の作業を合理化すると共に、事故や自然災害の発生を防止するための新しい技術開発を"On Site Visualization"のコンセプトに基づいて実施したものである。具体的には、状況が異なる場面での適用を想定して以下に示す 3 種類の異なる方法論を並行して開発し、それらを多様な背景を持つ現場で効果的に実施・運用する方法の基礎を築くことを目的とした。

研究・技術開発の内容と成果:

(1) Single Observation Point (SOP)法の開発: この方法では傾斜を生じる複数の場所に鏡を置き、用意した光源が、複数の鏡のすべてに映るようにし、その場所で発生する変状 (主に傾斜) を効率的に可視化するものである。この手法については複数のフィールド (地滑り現場, トンネル坑口斜面, 大学キャンパスなど) において実施した実験で、想定通りに効率よく傾斜を可視化できることを確認した。

(2) Light State Sensor System (LS³/analogue)法の開発: この方法では、傾斜や変位の発生で自然に発生する現象を利用して、その大きさを光で表示する装置を開発するものである。カラーフィルター, 光ファイバーなどを利用した装置を実験的に複数のフィールドで試験適用し、ランニングコストがゼロの状態でも十分にインフラの監視が可能であることを確認した。

(3) Mechanical tools (M)法の開発: この方法では、傾斜や変位の発生で自然に発生する現象を利用して、その大きさを機械的な動きを利用した表示に結び付けることで、周辺から視認できるようにするものである。完全に無電源で作動する装置を試作し、複数のフィールドで試験適用し、十分に適用可能であることを確認した。

運用ガイドラインについて:

これらの方法論は工事関係者だけの間で実施する場合と、可視化された情報が周辺住民にも伝わる場合があるため、それらの複数のシナリオにおいて、効果的な運用が可能となるような運用ガイドライン案の作成に必要な情報収集を行い、その原案を提示した。周辺住民の協力を得るケ

ースについては、想定していた現場の工事進捗が遅れたこともあり、具体的な作業には至らなかったが、今後の課題として引き続き検討する必要性があることを確認した。

低コスト装置の量産体制について：

装置の低コスト化については、一部の装置については製作に必要な原価を 1,000 円程度に抑えることも可能であることを確かめた。しかし、これについては量産体制を整備し、経費・利益などを上乗せした最終価格がどの程度に抑えられるかが未解決であるため、今後の課題として、引き続き検討することとした。

研究成果の情報発信について：

本研究で開発した低コスト・低消費電力型のモニタリングシステムは我が国の多くの現場で適用できるだけでなく、世界の各所で適用が可能なものである。特に、最近ではアジア地域のインフラ開発における安全管理や防災システムの整備が注目されているため、特に都市交通網の建設に関連する技術者・研究者をインドネシア、フィリピン、インドから招き国際ワークショップを開催した。彼らが管轄する大都市圏でのメトロ建設事業（マニラ地域、ジャカルタ地域）や大規模斜面安定化&モニタリング事業（ヒマラヤ地域）などにおいては、本研究で開発した方法論を適用できる現場が多数あることを相互に確認し、今後の技術協力に必要なネットワークの基礎を構築することができた。

実用化への展開について：

低コストの装置によるインフラの安全管理が、十分に現実的であることを確認できた。また、開発した装置のうち一部は、早急に実用化が可能なレベルになっている。同時に、提案する方法論を展開するにあたっての課題（採算性の確認、自治体への普及活動の必要性、海外への展開方法、ICT 技術との融合など）が明確になった。これらの課題解決に向けての必要な作業を、様々な研究助成資金などに積極的に応募することで推進する必要性を再認識した。

研究成果の刊行に関する一覧表：

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
1) Experiment for monitoring of ground movement ahead of mountain tunneling face using optical fiber	2012 年 11 月	地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム、地盤工学会関西支部	Haihua Zhang, M. Terashima, K. Tsujimura, S. Akutagawa
2) A new method for visualizing force in ground anchor by using plastic optical fiber and sun light	2012 年 10 月	Proceedings of the 7th Asian Rock Mechanics Symposium, Seoul	S. Akutagawa, A. Nishio, K. Takeya, Y. Ishizuka and T. Katayama
3) Onsite visualisation of measured information in mining engineering for advanced risk management	2013 年 5 月	Proceedings of the 7th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, 2013, Perth, Australia, pp. 645-656, 2013.	S. Akutagawa, S. Komiyama, T. Kunimi, A. Takahashi, C. Izumi and R. Abe

4) Visualisation of deformation or force in rock supporting structures	2013年5月	Proceedings of the 7th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, Perth, Australia, pp.657-667, 2013.	A. Nishio, H. Zhang, S. Akutagawa, K. Takeya, Y. Ishizuka, T. Katayama
5) Measurement and real-time visual presentation of ground deformation ahead of mountain tunneling face using optical fibers	2013年6月	Proceedings of the 3rd SINOROCK Symposium "Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Method", pp.759-762, 18 to 20 June, Shanghai, China, 2013.	S. Akutagawa, H. Zhang, M. Terashima and K. Tsujimura
6) RISK MANAGEMENT AND NEW TECHNOLOGIES IN HANOI METRO LINE 2	2013年10月	Proceedings of the International Workshop on the Risk Management in Urban Underground Construction, pp.667-674, Hanoi, Vietnam, 16th October, 2013.	C. Izumi, S. Akutagawa and Ho Thanh Son
7) SIMPLE MECHANICAL METHODS FOR MONITORING AND DATA-VISUALIZATION DURING NATM TUNNEL CONSTRUCTION	2014年1月	第42回岩盤力学に関するシンポジウム, 土木学会, pp.38-43, 2014.	H. ZHANG, M. TERASHIMA, K. TSUJIMURA and S. AKUTAGAWA
8) 計る技術と伝える技術で未来を創る	2014年2月	月刊土木技術, pp.8-14, Vol.69, No.2, 2014.	芥川真一
9) A new method for reading local deformation of granular material by using light	1-4 June, 2014.	Proceedings for the 48th US Rock / Geomechanics Symposium, Minneapolis, Paper 7723	Akutagawa, S., Nishio, A. and Matsumoto, Y., Machijima, Y.
10) Single Observation Point method for measurement and real-time visualization of inclination using a mirror for rock engineering projects	14-16 October, 2014	Proceedings of the 8th Asian Rock Mechanics Symposium, PDF file RHM-4, Sapporo, Japan	Shinichi Akutagawa, Katsuyuki Nakata, Akinobu Nishio and Hiroyuki Yamada
11) A mechanical method for monitoring and visualization of deformations of tunnel structures	14-16 October, 2014	Proceedings of the 8th Asian Rock Mechanics Symposium, PDF file	S. Akutagawa, H. Zhang, T. Terashima, K. Tsujimura

12) Monitoring and Data-visualization of Displacement for NATM Tunnel Constructions	16-19 November, 2014.	FMT2-5, Sapporo, Japan Proceedings of the International Conference on Life-Cycle of Structural Systems – Furuta, Frangopol & Akiyama (Eds), pp.216-220, Waseda University	S. Akutagawa, H. Zhang, M. Terashima and K. Tsujimura
13) The development of low cost Mechanical OSV (On Site Visualization) and its application on Bai Chay Bridge approach road in Vietnam,	16-19 November, 2014.	Proceedings of the International Conference on Life-Cycle of Structural Systems – Furuta, Frangopol & Akiyama (Eds), pp.649-656, Waseda University	C. Izumi, S. Akutagawa, H. Zhang, K. Tsujimura
14) グラウンドアンカーの緊張力変動を容易に把握する技術の開発と現場実証実験	October 9, 2014.	第17回「斜面防災対策技術フォーラム'14」 in 札幌	斎藤 春佳, 小林亮太, 竹家宏治, 川崎洋右, 芥川 真一
15) 大変形を生じる地山への M/d 機器の適用性	2015.1.	土木学会第43回岩盤力学に関するシンポジウム, pp. 210-215	青野泰久, 塚本晃平, 真下義章, 熊坂博夫, 張海華, 芥川真一
16) 無電源で作動する岩盤構造物のモニタリング装置の開発と適用事例	2015.1.	土木学会第43回岩盤力学に関するシンポジウム, pp. 284-287	芥川真一, 張海華, 西尾彰宣, 辻村幸治, 小林弘典, 高橋厚志
17) 計測データの可視化による安全監視	2014-09-01	地盤工学会誌 62(9), 32-33	芥川真一
18) A mechanical method for measurement and visualization of the deformation and its application	2014.7.	第49回地盤工学研究発表会, 北九州, No.978	S. Akutagawa, H. Zhang, K. Tsujimura
19) On Site Visualization -新しいモニタリングの形を探る-	2014.9.	建設機械施工, Vol.66, No.9, pp.42-47,	芥川真一
20) 鉱山の安全管理を目的とした On Site Visualization の適用可能性について	2015.2	資源素材学会誌, Journal of MMIJ, Vol.131(2015), No.2,3, pp.39-46	芥川真一

21) グラウンドアンカーの緊張力変動を容易に把握する技術の開発	2014.8.19	第53回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.114-115	斎藤春佳, 小林亮太, 竹家宏治, 芥川真一
22) グラウンドアンカーのたわみ式荷重判定装置の载荷試験	2014.8.19	第53回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.116-117	中野亮, 芥川真一, 宇次原雅之, 竹家宏治
23) 安全の見える化技術の現場適用と検証に関する一考察	2014.9	第69回土木学会年次学術講演会, VI-020	山田浩幸, 大槻文彦, 木村圭吾, 芥川真一
24) 土砂災害の予兆を捉える	2015.1.26	日経コンストラクション	(*)取材に基づく記事

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

必ずしも本プロジェクトの研究期間内に申請したものではないものも含まれているが、内容が強く関連しているためそれらを含めた知財関連情報を表に示す。

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
「自然および人工構造物変状検知装置」 (注) <u>本プロジェクト開始以前にすでに特許申請していたもの。</u> カラーフィルター、光ファイバーなどを利用して低価格で可視化を実施する複数の技術を盛り込んだパッケージ特許。本研究では LS ³ の部分がこれに相当する。	特許 第 5607185 号	2011/2/14	2014.9.5	環境総合テクノス 神戸大学
「ミラー調整治具、構造物変状検知システムおよび構造物変状検知方法」 (注) <u>本プロジェクト開始以前にすでに特許申請していたもの。</u> 鏡を利用して角度変化を可視化する SOP に関するもの。	特願 2011-035265	2011/2/21	審査中	神戸大学 オフィスひもろぎ
「地盤アンカーの緊張力変動表示装置」 (注) 本プロジェクトで推進している機械的装置 (Mechanical) のコンセプトをグラウンドアンカーに適用した特許申請。	特願 2014-151504	2014.7.25	審査中	神戸大学 エスイー
「見えるアンカー」 (注) 上の欄の特許に関して、これを NETIS 申請したもの。	NETIS KT-140109-A		2015.1.30	神戸大学 エスイー
「緊張力計測装置及び計測方法」 (注) 本プロジェクトで推進している機械的装置 (Mechanical) のコンセプトを拡大展開してグラウンドアンカー軸力評価に取り組んだ特許。ノギスだけで軸力評価ができることをアピールしており、可視化装置の装着も可能な設計になっている。	特願 2012-179178	2012/8/13	審査中	神戸大学 日特建設

成果の実用化の見通し：

3 種類の方法論、即ち、(1) Single Observation Point (SOP)法、(2) Light State Sensor System (LS³)法、(3) Mechanical tools (M)法を同時並行で開発し、基礎実験、フィールド実験を実施してきた。その結果、基礎実験だけに留めたもの、フィールド実験で将来性を確認できたもの、実用化の目前まで開発が進んだものなど、複数のセンサ開発を実施することができた。

本研究では、原則的には(1) SOP, (2) LS³, (3) Mechanical という3つのベクトルを意識したセンサ開発を実施したが、センサの仕様は3種類の方法論にとどまることなく、自由な設計が可能であることがわかった。インフラ業界におけるモニタリングは、捉えたい事象をどのような方法論で計測し、どのようなステップを経てその情報を関係者に伝えるか、ということである。その事象そのものが肉眼で視認できる場合は、計測をする必要はない。そうでない場合には、何らかの方法でその事象を捉え、何ステップかの誘発事象を故意に作る(センサを使うという意味)ことで、できるだけ効率的に関係者に伝達する必要がある。この際、誘発事象を起こさせる、即ちセンシングをする、という段階で、どのような事象を採用するかについては自然界に存在する様々な原理に基づく多様な選択肢があると考えられる。例えば、SOPを採用する場合には、「捉えたい事象が発生する」=>「鏡が傾く(誘発事象=Mechanical)」=>「鏡に映る場所が変わる(誘発事象=Optical)」という連鎖事象を作ることになる。このように、捉えた事象を関係者に伝達する連鎖誘発事象の設計には多くの選択肢があるため、プロジェクトの性質を十分に吟味した上で、予算を考慮し、最も適切なモニタリングシステムを設計することが懸命である。